

순간전압강하와 그 대책 (I)

글/홍 우 기(전 한국전력공사 배전처장)

목 차

1. 서 론
2. 전기사업의 종합품질과 순간전압강하 실태
3. 순간전압강하의 영향
4. 순간전압강하 대책
5. 결 론

1. 서 론

전력계통에 전기사고가 발생하면 고장전류가 흘러 순간적인 전압강하가 발생하게 된다.

한편 전압변동에 민감한 전자응용기구나 제어 시스템으로 구성되어 있는 섬유, 철강 및 전자산업체 등에서는 순간적인 전압강하가 발생하게 되면 생산 라인이 정지되어 재가동시까지의 장시간이 소요되거나 제품의 불량률이 증가되어 원가상승의 요인이 되고 있다.

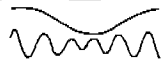
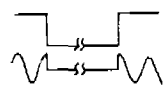
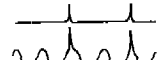
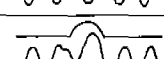
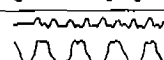
더욱이 하이테크(High Technologies) 중심으로 급속히 발전되고 있는 현대사회의 여건은 전기품질에 대한 요구수준이 높아지고 순간전압강하나 순간 정전 등에도 특별한 대책을 필요로 하고 있다.

(1) 국민문화 생활의 향상에 따른 전기품질의 요구수준 상승

(2) 정보산업의 발전에 따른 민감한 전자기기의 보급 확대

(3) 전력산업의 발전에 따른 정밀제어 요구 증대

<표 1-1> 전압외란과 지속시간

| 전압 외란 | 지속 시간 | 과 형 | 비 고 |
|-------------------------|---------------------------|--|------------------------------------|
| 순간전압강하 | 0.07s~2s |  | 미: 0.067 ~1s |
| 순 정 단 시 간 정 전 정 전 | 2s~1min 5분 이내 5분 이상 |  | 일: 0.07~ 2s 일: 2~60s (자동) |
| 전압 스파이크 | 0.5~200μs |  | |
| 전 압 서 지 | 200μs~ 16.7ms |  | |
| 전기적 노이즈 | 제한없음 |  | |

가. 전압외란과 순간전압강하의 정의

순간전압강하는 <표 1-1>과 같이 순간적으로 전압이 저하되는 것을 말하는데 용어의 정의나 한계 설정은 아직 표준화 되어 있지 않지만 보통 수 초이 내의 전압강하로 보고 있다. 일본에서는 ‘瞬間電壓低下’라고 하며 미국에서는 ‘Instantaneous Voltage Drop’ 또는 ‘Transient Voltage Fluctuations, Voltage Dips, Voltage Sags’ 등으로 표현해 왔다. 최근에는 전압외란(Voltage Disturbances) 범위속에 Voltage Sags라는 용어로 순간전압강하를 정의하고 있는데 그 내용은 다음과 같다.

(1) 순간전압강하(Voltage Sage)

순간적으로 전압이 저하되는 것이다. 이것은 근접한 수용가의 부하변동이나 전력계통의 고장, 전력공급 지역내의 큰 부하변동, 전력공급설비 불량 등으로 발생하며 0.07~2s(미국 0.067~1s)동안 지속되는 것이다.

(2) 정전(Outage or Interruptious)

전압이 순간 또는 장시간 존재하지 않는 것이다. 이것은 전력계통의 단락이나 전력공급설비의 불량, 근접한 수용가 설비의 불량 등으로 발생하며 그 지속시간은 자동조작의 경우는 2~60s이고 수동조작의 경우는 일정치 않다.

정전시간의 한계설정도 표준화된 것이 없으나 <표 1-2>에 일본의 관례를 소개한다.

(3) 전압 스파이크(Voltage Spikes or Transients)

마이크로초(秒) 정도로 대단히 짧은 시간 지속되는 임펄스(Impuls)로서 정상상태 전압의 1,000배를 초과할 수 있으며 지속시간은 0.5~200 μ s 정도이다.

(4) 전압서지(Voltage Surges)

장시간 계속되는 돌발적인 전압 상승이다. 이것은 전압 스파이크와 같이 낙뢰(유도뢰), 송배전계통의 개폐, 대용량 부하의 절단 등으로 발생하며 스파이크의 범위를 초과해서 16.7ms까지 지속되는 것이다.

(5) 전기적 노이즈(Electrical Noise)

전압동요(Voltage Fluctuation)의 가장 일반적인 형태로서 기준전압에 대한 고조파간섭(Harmonic Interference) 또는 불요주파수(Spurious Frequencies)

이다.

이것은 불연속 또는 비선형 제어장치와 포화변압기 용접기, 회전기 등에 의해서 발생하며 1ms 이하(1kHz 이상)의 시간폭으로 급준하고 주로 일반 개폐기류 반도체 스위치(사이리스터, 트랜지스터 다이오드 IC 등) 등의 개폐(on/off)시 발생하며 그의 주파수는 수 MHz 이상되는 것도 있고 불규칙적으로 랜덤하게 발생하는 경우가 많다.

나. 순간전압강하의 발생원인

전력계통에는 낙뢰 등의 천재지변과 전력설비의 자연열화 등에 의하여 전기사고를 완전히 방지하기는 어렵다. 특히 우리나라의 송배전계통은 중성점 직접접지방식을 채용하고 있어서 사고빈도가 잦은 1선 지락 사고 등에도 심한 전압강하를 초래한다.

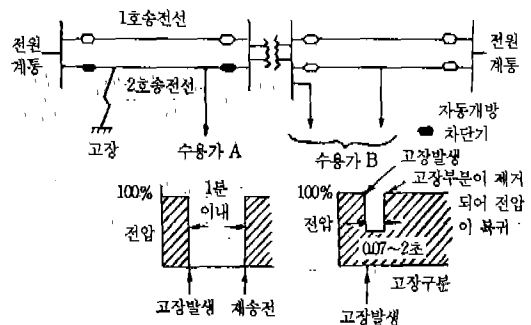
<그림 1-1>과 같은 계통에서 2호선에 고장이 발생하면 고장구간에 접속된 수용가A는 한번 이상의 순간정전 내지는 장시간의 정전을 당하게 되고 정기적으로 근접된 계통에 접속된 수용가B는 한번 이상의 순간전압강하 등이 전압외란을 당하게 된다.

다. 순간전압강하의 지속시간

순간전압강하의 지속시간은 <표 1-3>과 같이 계통전압에 따라서 보호계전기의 동작시간과 차단기의 개방시간이 다르므로 다소 차이가 있다. 전압 계

<표 1-2> 정전의 구분

| 정전의 종류 | 지속 시간 | 비 고 |
|-----------|-----------------|----------------------------------|
| 순간 정전 | 0.7(s)~2(s) | 한편 전기사고 통계는 5분 이상의 정전을 정전으로 취급함. |
| 단시간 정전 | 2(s)~1(m) | |
| 비교적단시간 정전 | 1(m)~10(m) | |
| 비교적장시간 정전 | 10(m)~30(m) | |
| 장시간 정전 | 30(m) 이상 | |
| 국부 정전 | 배전선로 구간단위 정전 | 대규모정전: 광범위 정전 장시간 정전 |
| 광범위 정전 | 2회선 이상의 배전선로 정전 | |



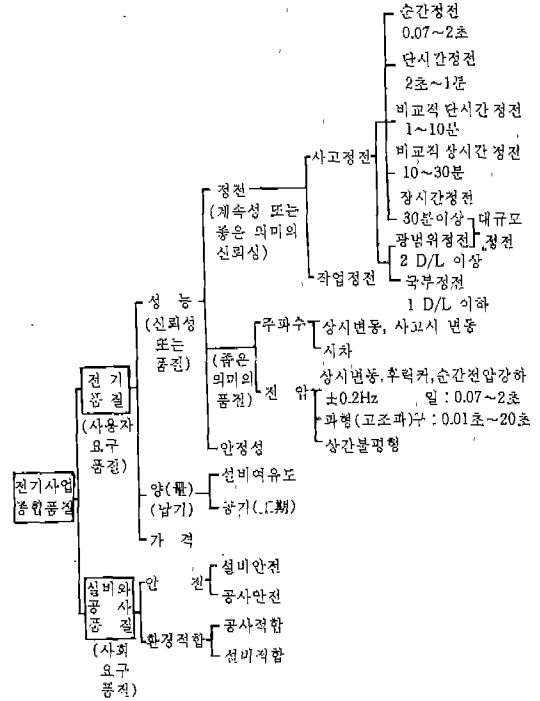
<그림 1-1> 고장점과 정전 또는 순간전압강하의 상황

<표 1-3> 계통전압별 순간전압강하 지속시간

| 사고 발생 계통 | 순간전압강하 지속시간(고장제어시간) (S) |
|----------|-------------------------|
| 345 kV | 0.07~0.4 |
| 154 kV | 0.07~0.33 |
| 66 kV | 0.10~2.0 |
| 22.9 kV | 0.10~2.0 |
| 6.6 kV | 0.17~2.0 |

<표 1-4> 미국 벨 시스템의 전압외란

| 구 분 | 점 유 율 | 시 간 |
|--------|-------|----------|
| 순간전압강하 | 10% | 0.03secs |
| | 25% | 0.09secs |
| | 50% | 0.12secs |
| | 75% | 0.24secs |
| | 90% | 0.53secs |
| 정 전 | 10% | 0.6secs |
| | 25% | 1.1secs |
| | 50% | 38.0secs |
| | 75% | 40mins |
| | 90% | 4.2hrs |



<그림 2-1> 전기사업의 종합품질요소

급이 높을수록 지속시간이 짧은 것은 고속도 보호계 전기에 의한 고속차단과 재폐로가 이루어지기 때문이다. 즉 순간전압강하의 발생원인이 154kV 이상의 송전계통 사고에 의한 경우는 파급범위가 넓은 반면에 지속시간은 짧고 66kV 이하의 송배전계통의 사고에 의한 경우는 파급범위는 좁지만 지속시간은 길다.

참고로 <표 1-4>는 미국 벨(BELL) 시스템의 전압외란 자료이다.

2. 전기사업의 종합품질과 순간전압강하 실태

가. 전기사업의 종합품질 요소

전기사업은 양질의 전기를 경제적으로 안정되게 공급하는 것을 기본적인 사명으로 하고 있다.

여기서 전기사업의 종합품질 요소는 <그림 2-1>과 같이 광범위한데, 일반적으로 양질의 전기라는 것은 주파수와 전압이 규정치에 일정하게 유지되고 정전이 없는 공간 신뢰도가 높은 것을 의미한다.

나. 정전 실태

(1) 수용가당 정전시간

순간전압강하와 관계가 깊은 정전에 대하여도 그 현황을 파악함으로써 합리적인 순간전압강하 대책을 수립할 수 있다.

우리나라의 '81~'86년의 평균 수용가 호당 정전시간은 외국과 비교해 보면 영국대비 5.6배, 일본대비 4.4배, 대만대비 2.2배로 나타나 사고감소 노력에 더욱 힘써야 함을 알 수 있고 특히 작업 정전시간이 월등하여(일본대비 4.3배) 무정전 작업공법 개발이 시급한 당면 문제임을 알 수 있다.

(2) 수용가당 사고정전시간

수용가당 연간 사고정전시간을 살펴보면 <그림 2-2>와 같이 9년간 89%(연간 10%)나 감소되었고 외국과 비교하면 프랑스의 1/2('85년)정도이고 미국, 영국과는 비슷한 수준이며 '86년 일본의 7.8

<표 2-1> 수용가당 정전시간 비교

(단위:분)

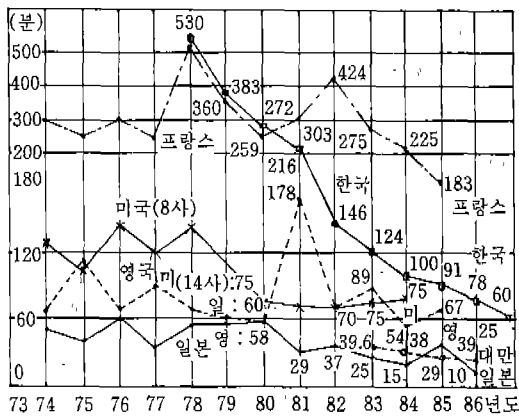
| 연도 | 한국 | | | 일본 | | | 대만 | | | 영국 | | | 미국(4사) | 불란서 |
|------------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-------|-------|-----|--------|--------------|
| | 작업 | 사고 | 소계 | 작업 | 사고 | 소계 | 작업 | 사고 | 소계 | 작업 | 사고 | 소계 | 사 고 | 사 고 |
| 1981 | 675 | 216 | 891 | 170 | 29 | 199 | | | | (70*) | (91*) | | 70 | 303 |
| 1982 | 587 | 146 | 733 | 144 | 37 | 181 | | | | 20 | 70 | 90 | 70 | (300) 424 |
| 1983 | 525 | 124 | 649 | 137 | 25 | 162 | 324 | 39 | 363 | 23 | 89 | 112 | 75 | 275 |
| 1984 | 467 | 100 | 567 | 113 | 15 | 128 | 240 | 38 | 278 | 23 | 54 | 77 | 75 | 225 |
| 1985 | 432 | 91 | 523 | 89 | 39 | 128 | 216 | 29 | 245 | 24 | 67 | 91 | | 183 |
| 1986 | 376 | 78 | 454 | 59 | 10 | 69 | 257 | 25 | 282 | | | | | |
| '81~'86 평균 | 510 | 126 | 636 | 119 | 26 | 145 | 259 | 33 | 292 | 22 | 92 | 114 | 73 | 282 |

* 재해분 제외
* 1981 London 대정전 제외

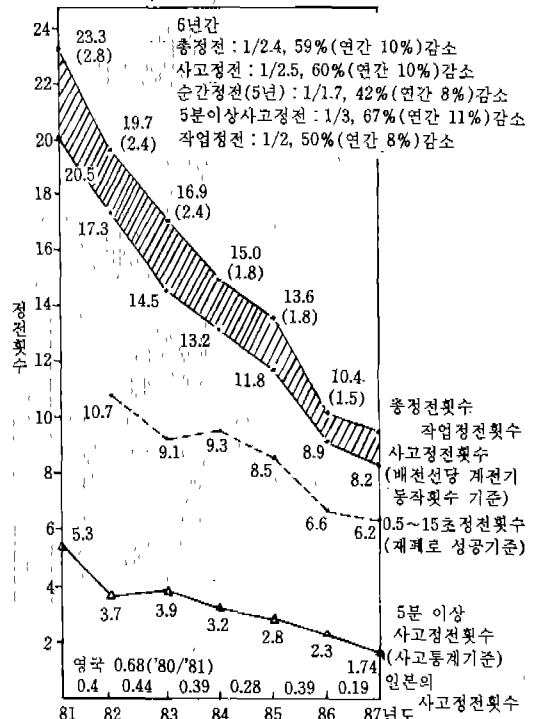
베이고 대만의 3.5배로 나타나고 있지만 서로 통계 기준이 불명확하여 정확한 비교는 곤란하다.

해마다 정전시간이 크게 감소되고 있는 것은 그동안 설비운용기술과 정전감소 대책의 노력 덕분으로 평가할 수 있다.

더구나 급속한 전력수요 증가에 대비하여 전원설비 건설에 치중하느라 전력수송분야(송배전 설비)



<그림 2-2> 수용가당 연간사고정전시간 추이



<그림 2-3> 수용가당 연간 정전횟수 추이

의 투자가 비교적 미흡했던 우리의 실정으로는 이 정도의 수준 유지에도 많은 노력의 결과라 보겠다.

(3) 수용가당 5분 이상 정전횟수

<그림 2-3>은 수용가당 연간 정전횟수 추이를 나타낸 것이다.

해마다 크게 감소되고 있지만 영국이나 일본에 비교해 상당히 낮은 것으로 나타나고 있다.

(4) 수용가당 순간정전횟수

배전선 계전기 동작횟수를 기준으로 산정한 수용가당(선로당) 사고정전횟수와 재폐로 성공률을 기준으로 추정한 0.5~15초 사이의 순간정전횟수의 연도별 추이를 보면 <표 2-2>와 <그림 2-4>와 같다. 배전선 계전기 동작을 기준으로 산정한 정전횟수에는 주파수, 주파수 저하시 저수파수 계전기(UFR) 동작으로 정전되는 횟수와 선로 중간의 Recloser 등의 동작정전은 포함되지 않았다. 배전선 계전기 동작횟수를 기준으로 산정한 사고정전횟수는 5분 이상의 사고정전횟수보다 4배 정도 많은 것으로 나타나고 0.5~15초 사이의 순간정전은 5분 이상의

<표 2-3> 10% 이상 순간전압강하 발생실태 측정결과
()내는 50% 이상의 전압강하

| 측정 장소 | 울산 S / S | 용인 S / S | 총 합 |
|--------------------|--|---------------------------------------|---|
| 측정 기간 | '85.11.18~ '86.7.22 (8.2개월:247일) | '86. 7.28~ '86.10.8 (2.4개월:73일) | '85.11.20~ '86.10.8 (10.6개월:320일) |
| 발생 횟수 (회) | 142 (13) | 161 (17) | 303 (30) |
| 월평균발생횟수 (회 / 월) | 17.3 (1.6) | 66 (7) | 28.6 (2.8) |
| 연평균발생횟수 (회 / 년) | 209.8 (19.2) | 805 (85) | 345.6 (34.2) |
| 평균 최저전압 (V) | 81.0 | 81.1 | 81.1 |
| 평균 지속시간 (S) | 0.16 | 0.19 | 0.18 |

<표 2-4> 미국 벨 시스템의 전압외란 측정결과

| 외압외란의 종류 | 점 유 율 (%) |
|----------|-----------|
| 순간 전압 강하 | 85 |
| 임 펄스 | 7.5 |
| 정 전 | 4.7 |
| 서 지 | 0.8 |

<표 2-2> 배전선 계전기 동작기준 사고건수와 정전 횟수

| 연도 | 사고건수 (건) | 배전선로 (선로) | 선로당 사고빈도 (건/선로) | 재폐로 성공률 (%) | 선로당 재폐로 성공빈도 (건/선로) | 수용가 당 사고 정전 횟수 (회) | 수용가 당 작업 정전 횟수 (회) | 선로당 정전 횟수 (회) | 비고 |
|-----|-------------|--------------|------------------------------|-------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----|
| '82 | 29,204 | 1,392 | 20.5 | | | 5.26 | 2.83 | 23.33 | |
| '82 | 25,960 | 1,499 | 17.3 | 62.0 | 10.7 | 3.70 | 2.41 | 19.71 | |
| '83 | 24,502 | 1,690 | 14.5 | 63.0 | 9.1 | 3.90 | 2.40 | 16.90 | |
| '84 | 24,101 | 1,822 | 13.2 | 70.5 | 9.3 | 3.19 | 1.82 | 15.02 | |
| '85 | 22,726 | 1,922 | 11.8 | 71.5 | 8.5 | 2.81 | 1.75 | 13.55 | |
| '86 | 18,801 | 2,111 | 8.9 | 74.4 | 6.6 | 2.30 | 1.54 | 10.44 | |
| '87 | 19,122 | 2,338 | 8.2 | 75.5 | 6.2 | 1.74 | 1.40 | 9.60 | |
| 비고 | | | 수용가 당 사고 정전 횟수 a | 순간정 전비율 b | 0.5~ 15초간 수용가 당순간 정전 횟수 a×b | 수용가 당 5분 이상사 고정전 횟수 c | | 수용가 당정전 횟수 a+d | |

정전횟수의 3배 정도로 추정되고 있다.

다. 순간전압강하 실태

순간전압강하 횟수는 '85년부터 약 1년간 울산S/S와 용인S/S에서 측정한 것을 기준으로 연평균 발생횟수를 추정한 것과 배전선 계전기 동작을 기준으로 추산해 보았다.

(1) 순간전압강하 측정

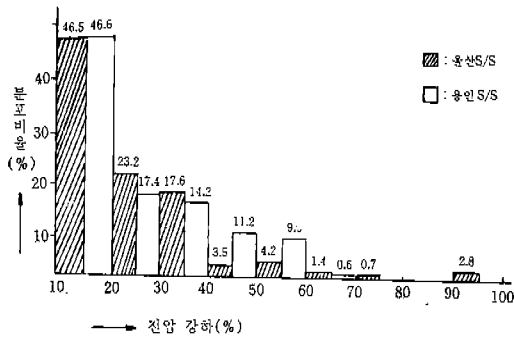
<표 2-3>은 울산변전소와 용인변전소의 22.9kV 모선에 만능외란 분석기(Universal Disturbance Analyzer)를 설치하여 10% 이상의 전압강하를 측정한 사례이다. 그중 수용가에 영향을 심하게 주게 되는 50% 이상의 전압강하가 발생한 순간전압강하 횟수는 연간 약 34.2회로 추정된다.

참고로 <표 2-4>는 미국 벨 시스템의 24개소에 측정한 전압외란의 점유율을 나타낸 것이다.

<표 2-5> 순간전압강하폭별 분포횟수

() 내는 백분율

| 측정 장소 전압강하폭(%) | 울산S/S | 용인S/S | 총 합 | |
|-------------------|----------|----------|-------------|------------|
| | | | 10%이상 10%간격 | 20이상 20%간격 |
| 10~19.9 | 66(46.5) | 75(46.6) | 141(46.5) | |
| 20~29.9 | 33(23.2) | 28(17.4) | 61(20.1) | |
| 30~39.9 | 25(7.6) | 23(14.3) | 48(15.8) | 109(67.3) |
| 40~49.9 | 5(3.5) | 18(11.2) | 23(7.6) | |
| 50~59.9 | 6(4.2) | 16(9.9) | 22(7.3) | 45(27.8) |
| 60~69.9 | 2(1.4) | 1(0.6) | 3(1.0) | |
| 70~79.9 | 1(0.7) | | 1(0.3) | 4(2.5) |
| 80~89.9 | | | | |
| 90~99.9 | 4(2.8) | - | 4(1.3) | 4(2.5) |
| 계 | 142(100) | 161(100) | 303(100) | 162(100) |



<그림 2-4> 순간전압강하폭별 분포

(가) 순간전압강하 폭

전력계통의 사고로 어느 정도의 전압강하가 발생하는가는 1선 지락사고인지 2선 단락인지, 3선 단락 사고인지에 따라서, 또 고장점의 위치가 전원으로부터 전기적으로 얼마나 떨어져 있는지, 고장점의 저항이 얼마였는지 등에 따라 다르다.

<표 2-5>와 <그림 2-4>는 울산S/S와 용인 S/S에서 측정된 예를 나타낸 것이고 <표 2-6>은 일본에서 특별고압과 고압으로 구분하여 측정된 평균을 나타낸 것이다.

(나) 순간전압강하 지속시간

순간전압강하의 지속시간 분포는 사고발생 계통별

<표 2-6> 순간전압강하량(일본 예)

| 전압저하량 원격 | 20~40% | 40~60% | 80% 이상 | 계 |
|-------------|--------|--------|--------|-------------------|
| 특별고압 | 25% | 25% | 25% | 100% (3회/년 정도) |
| 고 압 | 25% | 25% | 25% | 100% (4회/년 정도) |

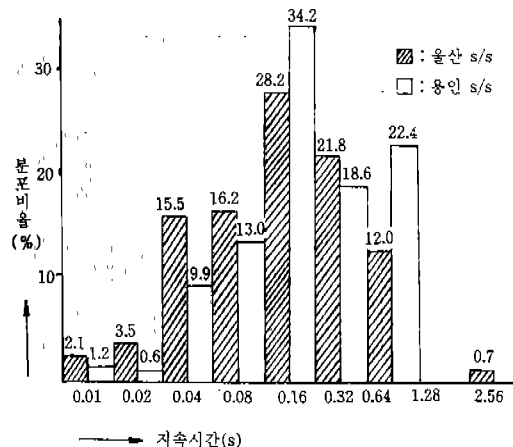
로 고장제거 시간과 관계되는 것으로써 울산과 용인 S/S에서 측정된 예는 <표 2-7>과 <그림 2-5>에 나타낸 바와 같고 일본에서의 예는 <표 2-8>과 같다.

<표 2-9>와 <표 2-10>은 미국 콘에디슨사 120/208V 저압배전계통에서의 전압변동의 크기와

<표 2-7> 순간전압강하 지속시간별 분포횟수

() 내는 백분율

| 지속시간 측정 장소 | 0.01 이하 | 0.011~ 0.040 | 0.041~ 0.160 | 0.161~ 0.640 | 0.641~ 이 상 | 계 |
|---------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| 울산 s/s | 3 (2.1) | 27 (19.0) | 63 (44.4) | 48 (33.9) | 1 (0.7) | 142 (100) |
| 용인 s/s | 3 (1.9) | 37 (23.0) | 85 (52.8) | 36 (22.4) | - | 161 (100) |
| 총 합 | 6 (2.0) | 64 (21.1) | 148 (48.8) | 84 (27.7) | 1 (0.3) | 303 (100) |



<그림 2-5> 순간전압강하 지속시간별 분포

<표 2-8> 순간전압저하 시간(일본 예)

| 저하시간 원격 | 0.1s 미만 | 0.1~ 0.2s | 0.2~ 0.3s | 0.3s 이상 | 계 |
|------------|------------|--------------|--------------|------------|-------------------|
| 특별고압 | 50% | 50% | 극히 없음 | 극히 없음 | 100% (3회/년 정도) |
| 고압 | 40% | 40% | 20% | " | 100% (4회/년 정도) |

<표 2-9> 순간전압강하(미국 예)

| 기준전압 | 전압강하 | 지속시간 | 평균발생 |
|----------|-------------|----------------|--------|
| 120/208V | 90V까지(25%) | 6Cycle(100ms) | 1~2회/년 |
| | 90V까지(25%) | 30Cycle(500ms) | 1~2회/년 |
| | 55V까지(54%) | 12Cycle(200ms) | 1~2회/년 |
| | 0V까지(100%) | 12Cycle(200ms) | 극히 드뭄 |
| 265/460V | 199V까지(25%) | 6Cycle(100ms) | 1~2회/월 |
| | 199V까지(25%) | 30Cycle(500ms) | 1~2회/년 |
| | 121V까지(54%) | 12Cycle(200ms) | 1~2회/년 |
| | 0V까지(100%) | 12Cycle(200ms) | 극히 드뭄 |

지속시간 및 발생빈도를 나타낸 것이다.

(2) 보호계전기 동작으로 본 순간전압강하

보호계전기 동작을 분석해보면 순간정전과 순간전압강하 횟수를 추산해 볼 수 있다. 순간정전의 경우

는 <표 2-2>에 이미 소개하였다.

발송전계통의 사고건수는 배전계통의 사고건수보다 대단히 적으므로 배전계통의 보호계전기 동작 횟수만을 기준으로 수용가당(또는 선로당) 순간전압강하 횟수 N_{vs} 를 구해 보면 다음과 같다.

$$N_{vs} = \frac{\text{수용가당 순간전압강하 횟수}}{\text{선로당 사고 Trip 횟수} \times (\text{변압기당 선로수} - 1)} = \frac{\text{사고건수}(1 + \text{재폐로 실패율})}{\text{선로수}} \times \left(\frac{\text{선로수}}{\text{변압기 BANK수}} - 1 \right)$$

1987년의 경우

| | |
|----------------|-------------|
| 배전선로사고 건수 | 19,122(회/년) |
| 배전선로수 | 2,338(회선) |
| 재폐로 실패율 | 24.5(%) |
| 변압기(배전용) BANK수 | 471(BANK) |

따라서 1987년의 수용가당 순간전압강하 횟수 N_{vs} 는

$$N_{vs} = \frac{19,122(1 + 0.245)}{2,338} \times \left(\frac{2,338}{471} - 1 \right) = 10.18(4.96 - 1) = 40(\text{회/년}) \quad \text{㉔}$$

<다음호에 계속...>

